上海地区红棕象甲的耐寒性研究

鞠瑞亭[1]，王　凤[1]，肖娱玉[1]，李跃忠[1]，杜予州[2]

(1. 上海市园林科学研究所，上海 200232；2. 扬州大学应用昆虫研究所，江苏扬州 225009)

摘要：红棕象甲 *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier)是我国危害棕榈科植物的重要入侵害虫，为探明其越冬抗寒性，利用过冷却点测定仪测定了红棕象甲上海种群不同虫态的过冷却点，在低温箱内测定了该虫不同虫态的耐寒性，然后结合田间越冬模拟试验、气象资料和寄主分布情况，初步确定了红棕象甲在我国的越冬北界。结果表明：红棕象甲过冷却点随虫态的发育程度的升高而下降，卵、1 龄幼虫、5 龄幼虫、9 龄幼虫和成虫的平均过冷却点分别为 -5.92，-6.42，-7.19，-7.43 和 -11.84℃，过冷却点由高到低的顺序依次为：卵 > 幼虫 > 成虫。在 6，24，48 和 72 h 4 个时间处理下，各虫态在低温与存活率之间呈显著或极显著的 logistic 回归，半致死温度($Ltemp_{50}$)均随处理时间的延长而上升，不同虫态在处理 72 h 后，卵、1 龄幼虫、5 龄幼虫、9 龄幼虫和成虫之间的 $Ltemp_{50}$ 分别为 1.61，-1.67，-2.39，-2.40 和 -0.40℃，各虫态耐寒性由弱到强的顺序依次为：卵 < 成虫 < 幼虫。红棕象甲不同发育阶段的过冷却点与其耐寒性并不完全相关，幼虫和成虫均可能是该虫的越冬虫态。连续两年的田间模拟越冬试验表明，在上海地区，红棕象甲的幼虫和成虫的越冬存活率均在 60% 以上，说明红棕象甲在上海地区是可以越冬的。根据这些结果，结合寄主分布情况，初步将红棕象甲在我国的越冬北界定于北纬 35°附近，即 1 月份 0℃等温线左右。

关键词：红棕象甲；过冷却点；耐寒性；越冬；棕榈科植物

中图分类号：Q968.1　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2010)02-0226-07

Cold hardiness of the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera: Curculionidae) in Shanghai

JU Rui-Ting[1], WANG Feng[1], XIAO Yu-Yu[1], LI Yue-Zhong[1], DU Yu-Zhou[2] (1. Shanghai Institute of Landscape Gardening Science, Shanghai 200232, China; 2. Institute of Applied Entomology, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: The invasive red palm weevil (RPW), *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier), native to Southern Asia, is becoming a serious invasive pest of palms in China. In order to understand how well the RPW survives under cold temperature, with materials from fields in Shanghai we determined the supercooling points (SCPs) with supercooling point determinator and the degree of cold hardiness in environmental chamber at low temperatures, simulated field overwintering test in Shanghai, and analyzed the north limit for overwintering of RPW. The results indicated that SCPs of the RPW were significantly decreased as the developmental stages increased. Adults had the lowest SCPs, followed by 9th, 5th and 1st instar larvae and eggs in an increasing order. The viability of various developmental stages in the RPW was measured in 6, 24, 48 and 72 h, and the relationship between the survival rate and low temperature could be fitted with logistic model significantly or extremely significantly. $Ltemp_{50}$ (the temperature that results in 50% mortality of the experimental population) was increased as time prolonged at all stages of the RPW. At 72 h after treatment, $Ltemp_{50}$ values of eggs, 1st instar larvae, 5th instar larvae, 9th instar larvae and adults were 1.61, -1.67, -2.39, -2.40 and -0.40℃, respectively. This result showed that the larvae had the highest cold hardiness, followed by adults and eggs in order. The above data indicated that the correlation between the cold hardiness and SCPs was not uniformly positive. Thus, we speculated that either adult or larva could be possible stage of overwintering for the RPW. The field overwintering test also showed that survival rates of both larvae and adults were above 60% in continuous two years (2007 and 2008), suggesting that the RPW could overwinter in the field in Shanghai. Based on the results obtained and

基金项目：国家“十一五”科技支撑项目(2008BAJ10B05)；上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科攻字(2007)第 9-2 号]；上海市科委重大项目(09dz0580202)；江苏省科技攻关项目(BE2005348)

作者简介：鞠瑞亭，男，1978 年生，博士研究生，高级工程师，研究方向为生物入侵，Tel.: 021-54364450; E-mail: jurt5907@sohu.com

收稿日期 Received: 2009-09-07；接受日期 Accepted: 2009-12-20

distribution of the hosts of the RPW, we tentatively inferred that the northern limit for overwintering of the RPW is proximate to 35°N or where the average low temperature in January is around 0℃.
Key words: Red palm weevil (*Rhynchophorus ferrugineus*); supercooling point (SCP); cold hardiness; overwintering; palms

红棕象甲 *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) 属鞘翅目(Coleoptera)象甲科(Curculionidae)，该虫以幼虫蛀食椰子、加纳利海枣等棕榈科植物茎干内部及生长点，并取食柔软组织造成隧道，导致受害组织坏死腐烂并产生特殊气味，严重时造成茎干中空，整株死亡，造成植株遇风易折断(王凤等，2009)。从全球尺度来看，红棕象甲是一种世界性害虫，在北纬 40°至南纬 40°之间均有分布(Murphy and Briscoe, 1999；鞠瑞亭等，2006, 2008)，在已有分布报道的各大洲中，除美洲大陆以外，其他各大洲均有该虫危害记录(Faleiro, 2006)，特别在中东、南亚、东亚、太平洋诸岛和地中海沿岸部分国家及地区危害尤为严重(Faleiro, 2006；鞠瑞亭等，2006)。在中国，该虫早先主要分布在海南、广西、广东、台湾、云南、福建、香港、西藏(墨脱)等地(章士美和赵泳祥，1996；万方浩等，2005)。近年来，随着棕榈科观赏植物的北移引种，红棕象甲分布区迅速扩张到上海、浙江、江西等地(王连生等，2008；王凤等，2009；Li *et al*., 2009)。鉴于该虫对中国椰子及加纳利海枣等棕榈科植物生产威胁较大，国家林业局于 2005 年将其列入我国新发布实施的 19 种林业检疫性有害生物名录(宋玉双，2005)。关于红棕象甲的前期研究，主要集中在生物学(Faghih, 1996；Murphy and Briscoe, 1999；刘奎等，2002；王凤等，2009)和监测防治(Abraham *et al*., 1975；Hanounik, 1998；Ramachandran, 1998；Hallett *et al*., 1999；覃伟权等，2002)等方面。在其适生区分布上已有报道称该虫在中国能广泛分布于秦岭以南地区，我国华南和华东地区局部省份处于高度适生的危险区(鞠瑞亭等，2008)。已有研究证明该虫在热带地区可常年危害，如在海南一年发生 2～3 代(覃伟权等，2002)，而在亚热带地区，如上海一年只能发生 1 代(张岳峰等，2008)，但在这些地区的各虫态的耐寒性仍不清楚，因此这些地区的越冬虫源究竟是在当地繁殖的，还是由引种源地携带而来的仍存在疑问。为进一步明确红棕象甲的耐寒性，初步划分其在我国的越冬北界，为棕榈科植物的北移引种应用提供防控该虫的技术支持，我们在室内测定了红棕象甲的过冷却点和耐寒性，并在上海野外进行了越冬试验，现将结果报告如下。

1　材料与方法

1.1　供试虫源及饲养方法

所用虫源为 2006 年 10 月采自上海浦东新区龙阳路和滨江森林公园受害的加纳利海枣植株上的红棕象甲成虫，在温度为 26 ± 0.5℃、相对湿度为 (80 ± 5)%、光周期为 0L: 24D 的恒温培养箱(Sanyo MLR-350H 型)内饲养。初孵幼虫利用新鲜甘蔗切块饲养，每 3～4 d 更换 1 次饲料，其中，1－4 龄幼虫饲养于直径 9.5 cm 的培养皿中，5 龄以上幼虫饲养在直径 12 cm 培养皿中，饲养时在培养皿上压上重物以防幼虫逃逸，为避免幼虫互相残杀，对其实行单头饲养。幼虫化蛹后，将培养皿中多余食物残渣清除。成虫羽化后，配对置于长 20 cm、宽13 cm、高 12 cm 的塑料盒中，在塑料盒盖上口开直径 3 cm 的小孔透气，并用尼龙纱网覆盖小孔以防虫源逃逸，塑料盒内放置甘蔗切块供其产卵，每日更换甘蔗切块，并将所产卵移至直径 9.5 cm 的培养皿中，在相同饲养条件下让其孵化。连续饲养 2 代后，以第 3 代的卵、幼虫和成虫供试。

1.2　过冷却点的测定

将热敏电阻的测温探头固定在待测样品上，然后置于低温箱内，箱内温度以 1℃/min 的速率降温。样品温度的变化由数据采集器采集后输入计算机。计算机中相应的软件对数据进行自动记录、分析测试样品的温度变化，并绘制温度变化曲线图。测定时，样品温度随着环境温度的下降而逐渐降低，当降到一定温度时，昆虫体液开始结冰，此时的温度即为过冷却点。由于开发了自动的过冷却点测定系统，测定样品的过冷却点值可通过计算机直接读出。各虫态测定数量分别为卵 14～20 头(粒)。

1.3　低温条件下存活率的测定

分别在 6, 4, 2, 0, －2 和 －4℃ 6 个低温条件下测定红棕象甲卵、1 龄、5 龄、9 龄幼虫和成虫的耐寒性。利用低温恒温箱(Sanyo MLR-253 型)调节温度设置。测定方法为将待测样品置于直径为 12 cm 的培养皿中，然后在各低温下分别放置 6, 24, 48 和 72 h 后(选择该时间梯度主要根据前期试验证明这一梯度能引起处理间差异)，将样品放回 26 ±

0.5℃，相对湿度(80±5)%，光周期 0L:24D 的条件下恢复，24 h 后检查存活率。每处理设 3 个重复，每重复虫量 30 头。

1.4 田间越冬试验

田间越冬试验采用结茧后幼虫和出茧前成虫进行。在上海市园林科学研究所本部的试验地中，在种植的加纳利海枣树干庞大部分的中部打一长约 20 cm、直径约 5 cm 的孔洞，然后将结茧后幼虫和出茧前成虫埋于所打孔洞中，将孔洞用加纳利海枣树枝粉碎物填充。埋茧时间分别在 2007 年 12 月 20 日和 2008 年 12 月 28 日，并分别于 2008 年 3 月 4 日和 2009 年 3 月 15 日检查试验结果，茧在温度为 26±0.5℃、相对湿度为(80±5)%、光周期为 0L:24D的条件下恢复 24 h 后，破茧检查发育虫态及其存活情况。每虫态测定虫量为 40~50 头。

1.5 数据统计与分析

红棕象甲不同虫态的过冷却点数据经过方差分析后，用 Duncan 氏多重比较法进行差异显著性测定。各虫态不同处理时间下温度与存活率的数据利用 logistic 方程进行拟合，方程式为：

$S = k/(k + e^{a+bt})$。其中 S 为存活率，t 为处理温度，k，a，b 为拟合系数，求出 a 和 b，(a/b 的值即为半致死温度($Ltemp_{50}$)(徐康等，2005)。以上数据处理均采用 DPS 软件系统进行(唐启义和冯明光，2002)。

2 结果与分析

2.1 红棕象甲各虫态的过冷却点

对红棕象甲不同虫态(卵、幼虫、成虫)过冷却点的结果表明(表 1)，不同虫态的过冷却点之间差异显著($P<0.05$)。随着虫态的发育程度的升高，过冷却点呈现下降趋势，其中，成虫的过冷却点最低，平均值为 -11.84℃，幼虫的过冷却点其次，平均值为 -7.02℃，卵的过冷却点最高，平均值为 -5.92℃。但从各虫态多重比较结果来看，卵与 1 龄幼虫之间、各龄幼虫之间过冷却点差异不显著，其他处理间差异显著($P<0.05$)。

2.2 红棕象甲各虫态的耐寒性

对红棕象甲不同虫态(卵、幼虫、成虫)在不同时间处理下的存活率与低温之间的回归方程及 $Ltemp_{50}$的分析结果表明，红棕象甲在不同处理时间下的低温生存能力随着发育阶段的变化而有较大的差别(表 2)。不同低温与存活率之间在不同的时间处理下均能较好地呈 logistic 回归，各方程拟合后均有显著或极显著关系。各虫态在不同的时间处理下，$Ltemp_{50}$随着处理时间的延长而上升，如卵经过 6，24，48，72 h 处理后，$Ltemp_{50}$分别为 -0.20，0.98，1.57 和 1.61℃。在相同处理时间下，各虫态的 $Ltemp_{50}$亦存在较大差异，如在处理 72 h 后，卵、1 龄幼虫、5 龄幼虫、9 龄幼虫和成虫之间的 $Ltemp_{50}$ 分别为 1.61，-1.67，-2.39，-2.40，-0.40℃。这说明在所观察的 3 个虫态中，耐寒性由弱到强的顺序排列依次为：卵<成虫<幼虫。在不同龄期的幼虫之间，1 龄幼虫的耐寒性要低于 5 龄幼虫和 9 龄幼虫，如处理 72 h 后，1 龄幼虫 $Ltemp_{50}$要比 5 龄幼虫和 9 龄幼虫高 0.72℃和 0.73℃，而 5 龄幼虫和 9 龄幼虫之间的耐寒性相当，在 6，24，48 和 72 h 处理后它们的 $Ltemp_{50}$仅分别相差 0.16，0.08，0.03 和 0.01℃。

表 1 红棕象甲不同虫态的过冷却点

Table 1 Mean supercooling point of the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*

虫态 Developmetal stage	样本数 Sample size	过冷却点(℃) Supercooling point
卵 Egg	20	-5.92±0.97 a
1 龄幼虫 1st instar larva	16	-6.42±1.38 ab
5 龄幼虫 5th instar larva	17	-7.19±1.59 b
9 龄幼虫 9th instar larva	16	-7.43±1.65 b
全幼虫期 Whole larval stage	49	-7.02±1.57
成虫 Adult	14	-11.84±1.45 c

表中所列的数据为平均数±标准差；同一列中具有不同字母的为 Duncan 氏多重比较差异显著($P<0.05$)。Data are presented as mean ± *SD*. Means in the same column followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

2.3 红棕象甲在上海地区的越冬

既然过冷却点和耐寒性的测定结果表明，高龄幼虫和成虫的耐寒性较强，这两种虫态有可能是田间的越冬虫态，那么红棕象甲的高龄幼虫和成虫在田间的越冬能力究竟如何呢？2007 年和 2008 年的测定数据均表明，红棕象甲的高龄幼虫和成虫在上海田间越冬期间均能够存活，存活率均在 60% 以上(表 3)，其中，幼虫的存活率略高于成虫。越冬结束后，破茧调查幼虫的发育虫态，发现均无幼虫发育成蛹或成虫的情况出现。这说明在上海地区，红棕象甲可以以高龄幼虫或成虫越冬，但在越冬期，幼虫并不进一步发育，越冬虫源由先一年发育至越冬时的虫态决定。

表 2　红棕象甲不同发育阶段在不同处理时间下的低温存活率回归方程及半致死温度

Table 2　Temperature-survival logistic regression model and $Ltemp_{50}$ in different developmental stages of the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* at selected time

虫态 Developmental stage	处理时间(h) Treatment time	Logistic 方程 Logistic regression model	r^2	$Ltemp_{50}$ (℃)
卵 Egg	6	$S = 88.8756/(1+e^{-0.1341-0.6679t})$	0.99 **	-0.20
	24	$S = 72.8141/(1+e^{2.4804-2.5353t})$	0.99 **	0.98
	48	$S = 67.7783/(1+e^{7.5021-4.7725t})$	0.99 **	1.57
	72	$S = 59.4459/(1+e^{6.9048-4.2855t})$	0.99 **	1.61
1 龄幼虫 1st instar larva	6	$S = 97.9273/(1+e^{-5.4222-1.3334t})$	0.99 **	-4.07
	24	$S = 92.8696/(1+e^{-5.9115-1.7349t})$	0.99 **	-3.41
	48	$S = 83.4010/(1+e^{-6.9008-2.7680t})$	0.91 *	-2.49
	72	$S = 81.9100/(1+e^{-1.4460-0.8648t})$	0.96 **	-1.67
5 龄幼虫 5th instar larva	6	$S = 98.0619/(1+e^{-11.1117-2.6760t})$	0.99 **	-4.15
	24	$S = 95.5740/(1+e^{-8.2501-2.2716t})$	0.99 **	-3.63
	48	$S = 88.0594/(1+e^{-9.9476-3.9627t})$	0.96 **	-2.51
	72	$S = 81.0111/(1+e^{-4.5792-1.9089t})$	0.93 *	-2.39
9 龄幼虫 9th instar larva	6	$S = 98.6701/(1+e^{-5.8163-1.3479t})$	0.99 **	-4.31
	24	$S = 95.8455/(1+e^{-8.9633-2.3895t})$	0.99 **	-3.71
	48	$S = 89.2598/(1+e^{-12.3908-4.8739t})$	0.96 **	-2.54
	72	$S = 83.1366/(1+e^{-4.2822-1.7869t})$	0.93 *	-2.40
成虫 Adult	6	$S = 103.1378/(1+e^{-1.8931-0.6952t})$	0.94 *	-2.72
	24	$S = 99.7222/(1+e^{-94.8902-48.1365t})$	0.99 **	-1.97
	48	$S = 96.7593/(1+e^{-463.3138-238.0721t})$	0.99 **	-1.95
	72	$S = 92.8408/(1+e^{-1.7323-4.3409t})$	0.99 **	-0.40

* 表示非线型 logistic 关系显著($P < 0.05$)；** 表示非线型 logistic 关系极显著($P < 0.01$)。* indicates significance with logistic model ($P < 0.05$), and ** indicates extremely significance with logistic model ($P < 0.05$).

表 3　红棕象甲在上海地区的越冬存活率(2007 和 2008 年)

Table 3　Survival rate of the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* in the field in Shanghai during winter (2007 and 2008)

埋茧时间 Date of burying cocoons	虫态 Developmental stage	取样时间 Sampling date	埋放天数(d) Exposure time	处理虫量 Number of test insects	存活数 Number of survival individuals	存活率(%) Survival rate
2007-12-20	结茧幼虫 Larva in cocoon	2008-3-4	76	40	27	67.50
2007-12-20	未破茧成虫 Adult in cocoon	2008-3-4	76	47	29	61.70
2008-12-28	结茧幼虫 Larva in cocoon	2009-3-15	78	45	29	64.44
2008-12-28	未破茧成虫 Adult in cocoon	2009-3-15	78	48	30	62.50

3　讨论

红棕象甲原产于印度南部(鞠瑞亭等，2006，2008)，是一种热带昆虫，在热带地区能常年危害(Rahalkar *et al.*，1972；Cox，1993；Avand Faghih，1996；Esteban-Duran *et al.*，1998；覃伟权等，2002)。Salama 等(2002)估计该虫在埃及热带地区可以一年繁殖 21 代，这种高的繁殖能力能有助于种群在一年中持续产卵，从而造成种群的世代重叠，对高温有较强的适应能力。但对该虫在越冬及耐寒性的研究目前仍处于空白，其在亚热带地区的

越冬存在许多令人困惑的问题，这些问题主要有：(1)红棕象甲的越冬虫态不明确。有报道称在亚热带北部的上海该虫主要以老熟幼虫越冬(张岳峰等，2008；李玉秀等，2008)。但据笔者前几年的观察，在上海地区尚存在以成虫越冬的情况出现。有关其在浙江、江西等新的传入地，其越冬虫态仍未知。(2)红棕象甲的越冬北界不清楚。目前该虫扩散的最北部仍在长江以南地区，长江以北地区是否能够越冬仍不得而知。鞠瑞亭等(2008)报道该虫的适生区最北部可达秦岭一线，涉及陕西、河南、安徽和江苏四省的北部地区，据此结果，长江以北地区仍处于该虫越冬适生区。从全球分布情况来看，红棕象甲分布的最北部可达北纬 40°附近，在日本，红棕象甲的分布边界最北已到北纬 35°附近(鞠瑞亭等，2006)。因此，红棕象甲越冬北界可能会突破长江以北地区。这样红棕象甲的越冬问题目前仍缺乏足量研究。

过冷却作用是不耐结冰的昆虫避免体内结冰的一个重要策略(Bale，1996)。所以，过冷却点常被认为是该类昆虫耐寒性大小的指示特征和所能耐受的低温极限(Lee and Denliger，1991)。为了阐明红棕象甲耐寒性及越冬规律，李玉秀等(2008)曾对上海地区的成虫和幼虫进行了过冷却点的测定，结果表明，该虫成虫的过冷却点平均为 －11.49℃，幼虫的过冷却点平均为 －5.20℃。但该研究仅报道了红棕象甲幼虫和成虫的平均过冷却点，而对其他虫态的过冷却点、耐寒性及田间越冬情况并未进行系统研究。从其结果来看，红棕象甲在成虫过冷却点上与本研究的结果基本相似，而幼虫的过冷却点则高于本研究的结果。由于该报道不够详细，因此，我们无法得知其测定过冷却点所用幼虫的龄期，这可能是造成和本研究结果不一致的主要原因。影响昆虫过冷却点的因素有很多，如不同的地理种群、不同季节的虫源及昆虫本身的生长发育情况均有可能影响过冷却点值(南京农学院，1985；任璐，2006)。另外，野外和室内饲养的种群、取食状态(食物种类、中肠食物浓度等)以及过冷却点测定方法(如低温箱的降温速率)等也会影响过冷却点的变化(Somme，1982)。

从本研究结果来看，红棕象甲卵、幼虫和成虫的过冷却点分别为 －5.92，－7.02 和 －11.84℃，而从其耐寒性的半致死温度来看，处理 6，24，48 和 72 h 后，各虫态半致死温度均在 －5℃ 以上，表明该虫的全部种群能耐受的低温并不能达到过冷却点，这说明红棕象甲是结冰敏感性昆虫。如从过冷却点来比较不同虫态的耐寒性，各虫态耐寒性强弱顺序为：卵 < 幼虫 < 成虫，成虫应该是最耐寒的虫态；而结合不同处理时间下的低温存活率回归方程及半致死温度参数分析表明，各虫态耐寒性顺序为卵 < 成虫 < 幼虫。以上结果一致说明卵是所测虫态中耐寒性最弱的，但是对于幼虫和成虫耐寒性的强弱顺序，其结果并不一致，这说明红棕象甲不同发育阶段的过冷却点与其耐寒性并不完全相关，过冷却点不能作为其耐寒性衡量中的唯一指标。这在其他许多昆虫中也有相当多的文献报道存在同样现象(Kim and Kim，1997；江幸福等，2001；Chen and Kang，2002；任璐，2006；杜予州等，2006)。

综合红棕象甲不同虫态过冷却点以及耐寒性的结果，笔者认为，红棕象甲高龄幼虫和成虫均有可能是越冬虫态，这与我们前期的田间调查结果是一致的。由于红棕象甲无滞育特性，因而其越冬北界受到冬季低温的限制。鉴于高龄幼虫和成虫在 72 h 处理后，其半致死温度均在 －2.5℃ 以上，因此，可以认为冬季平均气温低于 －2.5℃ 的地区，红棕象甲不能越冬，而高于 －2.5℃ 的地区，则可能存在越冬现象。另外，连续两年的以幼虫和成虫模拟其在上海地区的越冬的存活率均高于 60% 也支持了这一结果。参考我国的气候区划，北纬 35°附近，1 月份 0℃ 等温线大约位于淮河、秦岭一带，按照纬度每升高 1°，平均气温下降 1～2℃ 左右推测，红棕象甲在中国的越冬北界大约位于北纬 36.5°附近，既 1 月份 －2.5℃ 等温线左右。但该结果仅考虑昆虫耐寒性本身，未考虑到寄主的分布纬度，如进一步结合棕榈科植物的分布情况来看，该科植物在我国主要分布在秦岭以南地区，秦岭以北地区则很少分布(卫兆芬，1995)，因此，如结合寄主考虑其越冬北界，红棕象甲的越冬北界则仍在秦岭以东一线。该研究结果同鞠瑞亭等(2008)报道的红棕象甲适生区分布是基本一致的。

此外，在考虑红棕象甲耐寒性的时候，有 3 个方面值得进一步研究。一是本文仅通过半致死温度进行越冬北界的划分，该方法未考虑到在特定低温下的半致死时间和 99% 致死时间，因此，基于特定低温的致死时间对越冬北界影响值得进一步研究。二是本文并未考虑到寄主植物内部温度对越冬虫态的保护作用，由于红棕象甲是钻蛀性昆虫，其生存环境往往受到寄主植物内部温度的影响，因此，如考虑到寄主植物内部温度比环境温度高的情况，红

棕象甲的越冬问题仍需要进一步研究。三是本研究在进行过冷却点和耐寒性测定的过程中，仅考虑到卵、幼虫和成虫 3 种虫态，而未进行蛹的过冷却点及耐寒性测定，因此，对于蛹能够成为越冬虫态，尚需进一步结合野外的实验调查和室内试验方可下结论。

参 考 文 献（References）

Abraham VA, Koya KMA, Kurian C, 1975. Evaluation of seven insecticides for control of red palm weebil *Rhynchophorus ferrugineus* Fabr. *Journal of Plantation Crops*, 3(2): 71 –72.

Avand Faghih A, 1996. The biology of red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv. (Coleoptera: Curculionidae) in Saravan region (Sistan and Balouchistan Province, Iran). *Applied Entomology and Phytopathology*, 63: 16 –18.

Bale JS, 1996. Insect cold hardiness: a matter of life and death. *European Journal of Entomology*, 93: 362 –382.

Chen B, Kang L, 2002. Cold hardiness and supercooling capacity in the pea leafminer *Liriomyza huidobrensis*. *Cryo-Letters*, 23: 173 –182.

Cox ML, 1993. Red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* in Egypt. *FAO Plant Protection Bulletin*, 41: 30 –31.

Du YZ, Ju RT, Zhen FS, Gong WR, Diao CY, 2006. Effects of the environmental factors on the development and survival of banana moth, *Opogona sacchari* (Bojer) (Lepidoptera: Hieroxestidae). *Acta Phytophylacica Sinica*, 33(1): 11 –16.［杜予州，鞠瑞亭，郑福山，龚伟荣，刁春友，2006. 环境因子对蔗扁蛾生长发育及存活的影响. 植物保护学报，33(1): 11 –16］

Esteban-Duran J, Yela JL, Beitia Crespo F, Jimenez Alvarez A, 1998. Biology of red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera: Curculionidae: Rhynchophorinae), in the laboratory and field, life cycle, biological characteristics in its zone of introduction in Spain, biological method of detection and possible control. *Boletin de Sanidad Vegetal Plagas*, 24: 737 –748.

Faghih AA, 1996. The biology of red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv. (Coleopter, Curculionidae) in Savaran region (Sistan province, Iran). *Applied Entomological Phytopathology*, 63: 16 –86.

Faleiro JR, 2006. A review of the issues and management of the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Rhynchophoridae) in coconut and date palm during the last one hundred years. *International Journal of Tropical Insect Science*, 26(3): 135 –154.

Hallett RH, Oehlschlager AC, Borden JH, 1999. Pheromone trapping protocols for the Asian palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae). *International Journal of Pest Management*, 45(3): 231 –237.

Hanounik SB, 1998. Steinernematids and heterohabditids as biological control agents for red palm weevil (*Rhynchophorus ferrugineus*). *Agriculture Sciences*, (3): 95 –102.

Jiang XF, Luo LZ, Li KB, Zhao TC, Hu Y, 2001. A study on the cold hardiness of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Acta Ecologica Sinica*, 21(10): 1 575 –1 582.［江幸福，罗礼智，李克斌，赵廷昌，胡毅，2001. 甜菜夜蛾抗寒与越冬能力研究. 生态学报，21(10): 1 575 –1 582］

Ju RT, Li YZ, Du YZ, Chi XZ, Yan W, Xu Y, 2006. Alert to spread of alien invasive pest, red palm weevil, *Rhyncophorus ferrugineus* (Oliver). *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(2): 159 –163.［鞠瑞亭，李跃忠，杜予州，池杏珍，严巍，徐颖，2006. 警惕外来危险害虫红棕象甲的扩散. 昆虫知识，43(2): 159 –163］

Ju RT, Li YZ, Wang F, Du YZ, Zhang DS, 2008. Prediction of suitable distributions of red palm weevil *Rhyncophorus ferrugineus* Fabricius (Coleoptera: Curculionidae) in China with analysis of bio-climatic matching. *Scientia Agricultura Sinica*, 41(8): 2 318 –2 324.［鞠瑞亭，李跃忠，王凤，杜予州，张德顺，2008. 基于生物气候相似性的锈色棕榈象在中国的适生区预测. 中国农业科学，41(8): 2 318 –2 324］

Kim Y, Kim N, 1997. Cold hardiness in *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Environ. Entomol.*, 26(5): 1 117 –1 123.

Lee RE Jr, Denliger DL, 1991. Insect at Low Temperature. Chapman and Hall, New York. 174 –197.

Li YX, Feng C, Zhang YF, 2008. Pest risk analysis of *Rhynchophorus ferrugineus* in Shanghai area. *Acta Agriculturae Shanghai*, 24(1): 87 –90.［李玉秀，冯琛，张岳峰，2008. 上海地区红棕象甲的危险性评估. 上海农业学报，24(1): 87 –90］

Li YZ, Zhu ZR, Ju RT, Wang LS, 2009. The red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae), newly reported from Zhejiang, China and update of geographical distribution. *Florida Entomologist*, 92(2): 386 –387.

Liu K, Peng ZQ, Fu YG, 2002. Research advances on *Rhynchophorus ferrugineus* Fab. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 22(2): 73 –77.［刘奎，彭正强，付悦冠，2002. 红棕象甲研究进展. 热带农业科学，22(2): 73 –77］

Murphy ST, Briscoe BR, 1999. The red palm weevil as an alien invasive: Biology and the prospects for biological control as a component of IPM. *BioControl*, 20(1): 35 –46.

Nanjing Agricultural College, 1985. Insect Ecology and Forecasting Method. Agriculture Press, Beijing. 56 – 60.［南京农学院，1985. 昆虫生态及预测预报. 北京：农业出版社. 56 –60］

Qin WQ, Zhao H, Han CW, 2002. The working rule of *Rhynchophorus ferrugineus* and the control. *Journal of Yunnan Tropical Crops Science and Technology*, 25(4): 29 –30.［覃伟权，赵辉，韩超文，2002. 红棕象甲在海南发生为害规律及其防治. 云南热作科技，25(4): 29 –30］

Rahalkar GW, Harwalkar MR, Rananvare HD, 1972. Development of red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv. on sugarcane. *Indian Journal of Entomology*, 34: 213 –215.

Ramachandran CP, 1998. The red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus*: a review and future strategies. *Indian Coconut Journal Cochin*, 29(4): 104 –106.

Ren L, 2006. Adaptive Response of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) to Several Environmental Stresses. PhD Dissertation, South China Agricultural University, Guangzhou.［任璐，2006. 桔小实蝇对几种环境胁迫因子的适应性响应. 广州：华南农业大学博士学位

论文]

Salama HS, Hamdy MK, El-Din MM, 2002. The thermal constant for timing the emergence of the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliv.) (Curculionidae: Coleoptera). *Anzeiger für Schädlings-kunde*, 75(1): 26 – 29.

Somme L, 1982. Supercooling and winter survival in terrestrial arthropods. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 73A: 519 – 543.

Song YS, 2005. Synopsis of nineteen forestry quarantine pests in China. *Forest Pest and Disease*, 24(1): 30 – 35. [宋玉双, 2005. 十九种林业检疫性有害生物简介(Ⅰ). 中国森林病虫, 24(1): 30 – 35]

Tang QY, Feng MG, 2002. DPS Data Processing System for Practical Statistics. Science Press, Beijing. [唐启义, 冯明光, 2002. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社]

Wan FH, Zheng XB, Guo JY, 2005. Biology and Management of Invasive Alien Species in Agriculture and Forestry. Science Press, Beijing. 389 – 398. [万方浩, 郑小波, 郭建英, 2005. 重要农林外来入侵物种的生物学与控制. 北京: 科学出版社. 389 – 398]

Wang F, Ju RT, Li YZ, Xu Y, Du YZ, Zhou JM, 2009. Lab observation for biological characteristics and morphology of *Rhyncophorus ferrugineus*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 46(4): 556 – 560. [王凤, 鞠瑞亭, 李跃忠, 徐颖, 杜予州, 周建明, 2009. 红棕象甲室内生物学特性及形态观察. 昆虫知识, 46(4): 556 – 560]

Wang LS, Chen ZS, Qian ZQ, She DS, Ma JQ, Zhang J, Liu ZL, Wang H, Zhou XF, He SD, Wang G, 2008. *Rhynchophorus ferrugineus*, a new record of Curculionidae in Zhejiang. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 28(4): 56 – 59. [王连生, 陈志生, 潜祖琪, 佘德松, 麻建清, 张军, 刘志龙, 王华, 周雄飞, 何时德, 王刚, 2008. 浙江省象甲科新记录——红棕象甲的发生与防治. 浙江林业科技, 28(4): 56 – 59]

Wei ZF, 1995. Distribution of of Palmae in China. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 3(2): 1 – 18. [卫兆芬, 1995. 棕榈科植物的地理分布. 热带亚热带植物学报, 3(2): 1 – 18]

Xu K, Xia YP, Xu BY, Lin T, Yang X, 2005. Measurement of cold tolerance based on REC and the Logistic equation in *Camellia hiemalis* 'Shishi Gashira'. *Acta Horticulturae Sinica*, 32 (1): 148 – 150. [徐康, 夏宜平, 徐碧玉, 林田, 杨霞, 2005. 以电导法配合 Logistic 方程确定茶梅'小玫瑰'的抗寒性. 园艺学报, 32 (1): 148 – 150]

Zhang SM, Zhao YX, 1996. The Geographical Distribution of Agricultural and Forest Insects in China. China Agriculture Press, Beijing. 183. [章士美, 赵泳祥, 1996. 中国农林昆虫地理分布. 北京: 中国农业出版社. 183]

Zhang YF, Tang GL, Wang L, Pei ZW, Tang LF, 2008. Bionomics and control of *Rhyncophorus ferrugineus*. *Forest Pest and Disease*, 27 (3): 12 – 13. [张岳峰, 唐国良, 王玲, 裴正伟, 唐连锋, 2008. 锈色棕榈象生活习性与防治试验. 中国森林病虫, 27 (3): 12 – 13]

(责任编辑: 袁德成)